



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 10 137.3

Anmeldetag: 07. März 2003

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG, 81669 München/DE

Bezeichnung: Satz von wenigstens zwei Masken zur Projektion von jeweils auf den Masken gebildeten und aufeinander abgestimmten Strukturmustern und Verfahren zur Herstellung der Masken

IPC: G 03 F 1/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 5. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, likely belonging to the President of the German Patent and Trademark Office, is written over the text "Im Auftrag". The signature is stylized and cursive.

Wallner

Beschreibung

Satz von wenigstens zwei Masken zur Projektion von jeweils auf den Masken gebildeten und aufeinander abgestimmten Strukturmustern und Verfahren zur Herstellung der Masken

Die Erfindung betrifft einen Satz von wenigstens zwei Masken zur Projektion von jeweils auf den Masken gebildeten und aufeinander abgestimmten Strukturmustern mittels eines Projektionssystems in dieselbe photoempfindliche Schicht, welche auf einem Halbleiterwafer angeordnet ist. Die Erfindung betrifft insbesondere auch alternierende oder chromlose Phasenmasken, denen als Primärmasken sekundäre Trimm-Masken zur Vermeidung von Phasenkonflikten zugeordnet sind. Desweiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung der Masken.

Integrierte Schaltungen werden im Bereich der Halbleitertechnik üblicherweise durch sukzessive Projektion von auf Masken gebildeten Strukturmustern auf einen mit einem photoempfindlichen Resist beschichteten Halbleiterwafer und einer anschließenden Übertragung des Strukturmusters in jeweils unterhalb des Resist angeordnete Schichten hergestellt. Um die Miniaturisierung von Strukturgrößen innerhalb dieser Strukturmuster in der Halbleitertechnik weiter voranzutreiben, greift man für die Projektion zunehmend auf sogenannte Resolution Enhancement Techniken (RET) zurück. Dabei handelt es sich neben Beleuchtungsverfahren wie Schräglichtbeleuchtung (off-axis illumination) oder strukturspezifischen Verfahren wie der Optischen Proximity-Korrektur (OPC) vor allem um innovative Maskentechniken wie beispielsweise Phasenmasken.

Hinsichtlich der auf einem Halbleiterwafer mit einem Belichtungsgerät in einer Projektion erreichbaren Auflösung werden die besten Ergebnisse speziell durch den Typ der alternierenden oder der chromlosen Phasenmasken erzielt. Alternierende Phasenmasken eignen sich besonders für die Projektion eines auf einem solchen Maskentyp gebildeten eng stehenden Linien-

Spalten-Muster mit einem Breitenverhältnis von Linien zu Spalten von etwa 1:1.

Bei den genannten Typen von Phasenmasken können allerdings
5 sogenannte Phasenkonflikte auftreten. Diese führen im Falle einer Belichtung zu unerwünschten, noch unbelichteten Lackstrukturen in einer auf dem Halbleiterwafer angeordneten photoempfindlichen Schicht. Mit Hilfe einer Zweit- oder Trimm-Belichtung können diese Lackstrukturen nachträglich belichtet
10 und in einem nachgeschalteten Entwicklungsprozeß entfernt werden.

Es sind Trimm-Masken bekannt, die innerhalb einer intransparenten Chromschicht auf einem Substrat lichtdurchlässige Öffnungen aufweisen, die auf die bereits durch Phasenkonflikte
15 entstandenen Lackstrukturen einer alternierenden oder chromlosen Phasenmaske projiziert werden können. Mit Hilfe weiterer Öffnungen in der Chromschicht können außerdem weitere Strukturelemente eines Strukturmusters nicht so kleiner und
20 damit unkritischer Abmessungen in der photoempfindlichen Schicht belichtet werden. Auf diese Weise lassen sich mit Hilfe eines Satzes zweier Masken mit aufeinander abgestimmten Strukturmustern kleinste dimensionskritische Strukturelemente neben größeren und daher weniger kritischen Strukturelementen
25 abbilden.

Trimm-Masken sind typischerweise als Dunkelfeldmasken ausgebildet, d.h. die auf einem Wafer zu bildenden Strukturelemente sind als Öffnungen in einer intransparenten oder wenigstens semitransparenten Schicht auf dem Substrat der Maske
30 ausgebildet. Die Trimm-Masken werden auch als Sekundärmasken bezeichnet. Alternierende Phasenmasken liegen im allgemeinen ebenfalls als Dunkelfeldmasken vor.

35 Bei Verwendung der Phasenmasken des alternierenden oder chromlosen Typs läßt sich für viele Strukturgeometrien, beispielsweise von Linien-Spaltenmustern, ein vergleichsweise

großes lithographisches Prozeßfenster erzielen. Ein lithographisches Prozeßfenster repräsentiert die bei einer Projektion auf einen Wafer zum Nichtüberschreiten einer bestimmten Strukturbreitentoleranz notwendigen Wertebereiche von Belichtungs-
5 dosis und Fokus.

Es gibt aber auch für diesen Maskentyp bestimmte Strukturgeometrien, insbesondere Linien-Spalten-Muster mit einem ganz speziellen von 1:1 verschiedenen Linien-zu-Breiten-

10 Verhältnis, für die besonders auch unter Verwendung von alternierenden oder chromlosen Phasenmasken nur ein kleines Prozeßfenster erzielt werden kann. Insbesondere wird dabei eine für die Anwendung in der Schaltkreisfertigung zu geringe Schärfentiefe (englisch: depth of focus) erreicht. Derartige
15 Strukturmuster lassen sich meist auch nicht durch eine Zweitbelichtung mit Hilfe einer Trimm-Maske in hinreichender Qualität abbilden.

Eine allerdings unzureichende Lösung für das bestehende Problem besteht darin, schon bei der Vorbereitung zur Bildung des Strukturmusters auf der Maske genau diejenigen Breiten einzelner Strukturelemente bzw. Perioden regelmäßiger Muster auszuschließen, für die beispielsweise aufgrund von experimentellen oder simulatorischen Untersuchungen ein nur noch
20 sehr kleines Prozeßfenster für das Strukturelement erwartet werden darf. Um die gewünschten Strukturmuster mit ihrer Funktionalität in der später fertiggestellten integrierten Schaltung dennoch realisieren zu können, sind somit Designs zu erstellen, welche die genannten Ausschlußkriterien erfüllen.
30

Dies führt einerseits zu einem erhöhten Aufwand wenigstens beim Design des Bauelementes, andererseits kann es aber auch zu Einschränkungen in der durch das Layout ermöglichten Funktionalität kommen. Hieraus resultiert häufig auch eine Ver-
35 größerung der Schaltkreisfläche, woraus sich durch die gerin-

gere Anzahl von Schaltkreisen pro Wafer auch höhere Kosten für die Fertigung ergeben können.

Es ist die Aufgabe der Erfindung die Qualität der Projektion von auf Masken gebildeten Strukturmustern auf einen Halbleiterwafer zu verbessern sowie die Kosten zur Herstellung von integrierten Schaltungen zu senken. Es ist insbesondere eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, den Prozeß der Doppelbelichtung von Masken, insbesondere unter Verwendung einer alternierender oder chromloser Phasenmasken sowie dieser Maske zugeordneten Trimm-Maske derart zu verbessern, daß Linien-Spalten-Muster mit sehr unterschiedlichen Strukturgeometrien mit einem im Vergleich zum Stand der Technik vergrößerten Prozeßfenster auf einen Wafer projiziert werden können.

Die Aufgabe wird gelöst durch einen Satz von wenigstens zwei Masken zur Projektion von jeweils auf den Masken gebildeten und aufeinander abgestimmten Strukturmustern mittels eines Projektionssystems in dieselbe photoempfindliche Schicht, welche auf einem Halbleiterwafer angeordnet ist, wobei das Projektionssystem eine Auflösungsgrenze für eine laterale Dimension einer von einer Maske auf den Halbleiterwafer projizierten Öffnung aufweist, umfassend:

- eine erste Maske, umfassend eine semi- oder intransparente erste Schicht, welche auf einem ersten Substrat angeordnet ist und in welcher wenigstens eine erste Öffnung an einer ersten Position gebildet ist, wobei die erste Öffnung eine erste laterale Dimension aufweist, welche größer als die Auflösungsgrenze ist,
- eine der ersten Maske zugeordnete zweite Maske, umfassend eine semi- oder intransparente zweite Schicht, welche auf einem zweiten Substrat angeordnet ist und in welcher wenigstens eine der ersten Öffnung zugeordnete erste Blindstruktur an einer zweiten Position gebildet ist, wobei die erste Blindstruktur eine zweite laterale Dimension aufweist, welche geringer als die Auflösungsgrenze ist,

- wobei die erste Position auf der ersten Maske im wesentlichen identisch mit der zweiten Position auf der zweiten Maske ist.

5 Die Aufgabe wird außerdem gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung des Satzes mit den Merkmalen des Anspruchs 9.

Auf der für eine Zweitbelichtung in einem Trimm-Belichtungsprozeß vorgesehenen Trimm-Maske, bei der es sich insbesondere
10 um eine Dunkelfeldmaske handeln kann, ist neben

- den für das Nachbelichten von noch unbelichteten Gebieten in der photoempfindlichen Schicht sowie
- den zur Übertragung größerer aktiver Strukturen auf eine Wafer

15 eingerichteten Öffnungen vorgesehen, weitere Öffnungen als Hellstrukturen in einem dunklen Umfeld zu plazieren. Diese weisen eine laterale Dimension auf, die kleiner als die Auflösungsgrenze des Projektionssystems ist und werden deshalb als Blindstrukturen bezeichnet.

20

Auf der zweiten Maske ist demnach mindestens eine durch das Projektionssystem nicht auflösbare Öffnung vorgesehen. Eine solche Struktur wird auch als Sub-Resolution Struktur bezeichnet, wobei diese aber erfindungsgemäß nicht als Hilfsstruktur einer auf der gleichen Maske angeordneten Mutterstruktur dient. Die Blindstruktur wird vielmehr auf der zweiten Maske an genau derjenigen Position plaziert, wo sie durch ihre Abbildung bei einer Projektion auf den bereits in der Primärbelichtung durch die erste Öffnung der ersten Maske bestrahlten Ausschnitt in der Bildebene des Projektionssystems fällt, d.h. in die photoempfindliche Schicht auf dem Wafer.
30 Durch die zweite Maske findet also eine Nachbelichtung des durch die Erstbelichtung bereits bestehenden latenten Bildes einer oder mehrerer Strukturen im Lack statt.

35

Die Blindstruktur ist insbesondere als Blindöffnung ausgebildet und besitzt die Eigenschaft, daß es bei einer Belichtung

der photoempfindlichen Schicht allein durch die zweite Maske nicht zur Bildung einer Lackstruktur aufgrund der Projektion der Blindstruktur kommt, da sie eine laterale Dimension unterhalb der Auflösungsgrenze des Projektionssystems besitzt.

5

Mit Hilfe der Kombination einer strukturbildenden Öffnung an einer Position auf der ersten Maske und einer an der gleichen relativen Position auf der zweiten Maske gebildeten Blindstruktur kann eine Verbesserung des lithographischen Prozeßfensters, insbesondere der Schärfentiefe bei der Projektion der betreffenden Strukturelemente bzw. Öffnungen auf einen Wafer erreicht werden.

10

Ein besonderer Vorteil entsteht, wenn mehrere durch Stege getrennte Öffnungen in einer periodischen Anordnung auf der ersten Maske jeweils durch erfindungsgemäße Blindstrukturen auf der der ersten Maske zugeordneten zweiten Maske ergänzt werden. Auch hier gilt, daß die Positionen der Öffnungen und ihnen zugeordneten Blindstrukturen jeweils die identisch sind.

20

„Identisch“ bedeutet hier, daß die Positionen bezogen auf ein Koordinatensystem der Maske, das von der ersten Maske auf die zweite Maske übertragbar ist, gleich sind. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die Masken im wesentlichen identische Außenmaße besitzen und ihre Lagepositionierung in einer Maskenhalterung während einer Projektion durch Markierungen im Substrat festgelegt ist. Somit fallen auch die Abbildungen der Öffnung und der ihr zugeordneten Blindstruktur in denselben Ausschnitt in der Bildebene, d.h. der photoempfindlichen Schicht.

30

Die periodisch durch Stege, beispielsweise Chromstege getrennten Öffnungen bilden ein Linien-Spaltenmuster mit einem Verhältnis von Linienbreite zu Spaltenbreite. Die für ganz spezielle Werte dieses Verhältnisses besonders kleinen Prozeßfenster bei einer Projektion gemäß dem Stand der Technik werden aufgrund der zugeordneten Blindstrukturen erheblich

35

vergrößert. Es ist daher nicht mehr notwendig, bestimmte Strukturgeometrien im Layout einer integrierten Schaltung auszuschließen oder die Anzahl der auszuschließenden Strukturgeometrien wird deutlich gesenkt.

5

Da für diese erfindungsgemäße Ausgestaltung den Öffnungen bzw. Spalten auf der ersten Maske Blindstrukturen bzw. Blindspalten mit einer besonders geringen lateralen Dimension zugewiesen sind, ergibt sich auf der zweiten Maske ein zugeordnetes Linien-Spalten-Muster mit einem besonders großen Verhältnis von Linienbreite zu Spaltenbreite (Stegbreite zu Öffnungsbreite).

10

Gemäß einem Verfahren zur Herstellung des Maskensatzes ist es vorgesehen, Bedingungen abzu prüfen, unter denen diejenigen Öffnungen auszuwählen sind, denen zur Verbesserung bzw. Vergrößerung des Prozeßfensters, eine Blindstruktur auf einer zweiten Maske zuzuordnen ist. In einem iterativen Prozeß können die Blindstrukturen dann in ihrer Form, etwa in ihrer lateralen Dimension, derart angepaßt werden, daß ein möglichst großes Prozeßfenster erzielt wird.

15

20

Dazu wird ein Simulationsverfahren unter Einbeziehung herkömmlicher Lithographie - Simulationsprogramme verwendet. Durch Berechnung der sogenannten Bossungskurven der abzubildenden Öffnung, wird die Ausbildung der Form dieser Kurve

$$CD = CD(\text{Defokus})$$

ermittelt. Dabei bezeichnet CD die laterale Dimension bzw. Linienbreite der als Abbild einer Öffnung der ersten Maske auf dem Wafer gebildeten Lackstruktur, die nach dem Entwickeln in der photoempfindlichen Schicht entsteht. Als Defokus wird die Differenz der aktuellen Bildebene von der optimalen Bildebene bezeichnet.

30

35

Die Form der Bossungskurve ist im allgemeinen symmetrisch um eine durch den optimalen Fokus repräsentierte Achse in dem Diagramm angelegt. Sie kann auch eine konkave oder eine kon-

vexe Form annehmen. Als konkav wird diejenige Kurvenform bezeichnet bei der die Linienbreite sich mit zunehmendem Defokus vergrößert.

- 5 Nur die benachbarten Spalte solcher Lackstrukturen, deren Bossungskurve konkav verläuft, erhalten eine Blindbelichtung. Die Breite der zur Blindbelichtung benutzten Blindstrukturen bzw. Blindspalte auf der zweiten Maske ist kleiner als diejenige der korrespondierenden Öffnungen bzw. Spalte auf der
- 10 Primärmaske. Durch das iterative simulatorische Verfahren wird die Strukturgeometrie der für die Blindbelichtung benutzten Spalte bestimmt, wobei der Einfluß der Strukturgeometrie auf die Form der Bossungskurven untersucht wird und diejenige Strukturgeometrie des Blindspaltes ausgewählt wird,
- 15 für die die Bossungskurve annähernd parallel zur Fokusachse verläuft. Durch diese flache Form der Bossungskurve wird bei vorgegebener Strukturbreitentoleranz eine größere Tiefenschärfe für die Projektion ermöglicht.
- 20 Eine Blindbelichtung bei Vorliegen einer konvexen Form der Bossungskurve würde hingegen den Tiefenschärfebereich verringern. Wird also bei Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eine konvexe Form festgestellt, d.h. der obere Grenzwert des Toleranzintervalls wird nicht durch aus der Simulation gewonnenen Meßwerten überschritten, so wird die Iteration beendet. Auf der Trimm-Maske wird dann keine Blindstruktur ausgebildet.

- Im Rahmen der Erfindung ist auch eine Klassifizierung der
- 30 Blindspaltgeometrie in wenige Basiswerte vorgesehen. Im Grenzfall wird man sich auf eine Basisbreite beschränken.

- Im Rahmen der Erfindung ist im Falle von Phasenmasken und den ihnen zugeordneten Trimm-Masken auch eine bezüglich Blind-
- 35 strukturen inverse Zuordnung zu der Primärmaske anstatt der Sekundärmaske vorgesehen. Das heißt, daß auf der Primärmaske neben den für eine Projektion vorgesehenen Öffnungen erfin-

dungsgemäße Blindstrukturen für die Verbesserung des Prozeßfensters der durch die Zweitbelichtung mit der Trimm-Maske übertragenen Öffnungen eingebracht werden. Die Trimm-Maske ist in diesem Falle die „erste“ Maske und die Primärmaske der Trimm-Belichtung ist die „zweite“ Maske, wobei durch die Begriffe „erste“ und „zweite“ explizit kein zeitlicher Bezug oder ein solcher der Reihenfolge bei der Belichtung gemeint ist.

10 Als Primärmaske sind verschiedene Maskentypen vorgesehen, wie zum Beispiel alternierende oder chromlose Phasenmasken, sogenannte Dreitonphasenmasken oder auch Chrommasken sowie Mischformen aus diesen Maskentypen. Als Sekundär- oder Trimm-Maske wird typischerweise eine Chrommaske oder eine Dreitonphasenmaske eingesetzt. Im Rahmen der Erfindung sind aber ebenso alternierende oder chromlose Phasenmasken oder deren Mischformen vorgesehen.

20 Kern der Erfindung ist das wechselseitige, d.h. von einer Primärmaske in eine Sekundärmaske und umgekehrt, Blind-Trimmen in bereits abgebildete Öffnungen bzw. Spalte zur Vergrößerung des lithografischen Prozeßfensters bei der Bildung von Resiststegen sowie ein Auswahlverfahren der betreffenden Strukturgeometrie.

Die erfindungsgemäß vorgesehene Blindbelichtung mittels einer auf einer zweiten Maske gebildeten Blindstruktur ermöglicht eine Vergrößerung des Prozeßfensters der betreffenden Lackstruktur, insbesondere deren Schärfentiefe. Strukturen mit Geometrien, für die durch Einfachbelichtung keine ausreichende Schärfentiefe für die Anwendung in der Fertigung erzielt werden kann, werden durch die Blindbelichtung verbessert. Das trifft für alle diejenigen Strukturen zu, die nach der Primärabbildung über den Defokus eine konkav verlaufende Kurve ausbilden. Die durch das erfindungsgemäße Blindbelichtungsverfahren erzielte Verbesserung des Prozeßfensters ermöglicht es, Einschränkungen in der Realisierung spezieller zuvor ab-

bildungskritischer Strukturgeometrien bei der Designerstellung deutlich zu verringern oder gar zu beseitigen und somit die Größe der Schaltkreise zu reduzieren. Da ferner auch für Strukturen mit semi-kritischem Prozeßfenster Verbesserungen erzielt werden können, wird die Linienbreitenvariation und somit die Nacharbeitsrate für den lithografischen Prozeß reduziert, und in Folge dessen die Gutasbeute der erzeugten Schaltkreise vergrößert.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung sieht vor, daß wenigstens ein im wesentlichen opakes Strukturelement an einer weiteren ersten Position auf der ersten Maske gebildet ist, so daß durch dessen Abbild im Falle einer Projektion auf den Halbleiterwafer ein noch unbelichtetes Lackgebiet in der photoempfindlichen Schicht gebildet wird, und wenigstens ein semitransparentes Gebiet an einer mit der weiteren ersten Position auf der ersten Maske übereinstimmenden weiteren zweiten Position auf der zweiten Maske derart angeordnet ist, daß durch dessen Abbild im Falle einer Projektion auf dem Halbleiterwafer wenigstens ein Teil des Lackgebietes in der photoempfindlichen Schicht belichtet wird.

Die erfindungsgemäße Kombination eines transparenten Strukturelementes auf der ersten Maske mit einer Blindstruktur auf der zweiten Maske, die eine laterale Dimension unterhalb der Auflösungsgrenze des Projektionssystems bei vorgegebenen Belichtungsparametern besitzt, wird ergänzt durch die Kombination eines transparenten Gebietes auf der ersten Maske mit einem semitransparenten Gebiet auf der zweiten Maske. Dadurch können verschiedene transparente Strukturelemente auf einer Maske mit verbessertem Prozeßfenster mit Hilfe einer der ersten Maske zugeordneten zweiten Maske abgebildet werden.

Die Erfindung soll nun anhand von Ausführungsbeispielen mit Hilfe einer Zeichnung näher erläutert werden. Darin zeigen:

Figur 1 einen Querschnitt durch eine für eine Projektion auf einen Wafer vorgesehene Primärmaske und eine der Primärmaske zugeordnete Trimm-Maske gemäß dem Stand der Technik,

5

Figur 2 wie Figur 1, jedoch gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Figur 3 wie Figur 2, jedoch gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

10

Figur 4 ein Diagramm mit einer Bossungskurve jeweils für das Ausführungsbeispiel gemäß dem Stand der Technik, und für das erste Ausführungsbeispiel der Erfindung,

15

Figur 5 ein Ablaufdiagramm eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens.

Figur 1 zeigt am Beispiel einer alternierenden Phasenmaske P, die sequentiell in Kombination mit einer Trimm-Maske T auf das Substrat W abgebildet wird, das typische Verfahren der Doppelbelichtung, d.h. der Kombination aus Erst- und Zweitbelichtung, entsprechend dem Stand der Technik. Mit einem Trimm-Masken-Belichtungsprozeß ist in diesem Dokument ein Verfahren bezeichnet, bei dem aufeinanderfolgend die Belichtung mit einer Primärmaske und einer Sekundärmaske, der Trimm-Maske, auf einen Wafer durchgeführt wird, ohne daß der auf dem Wafer angeordnete Resist zwischenzeitlich entwickelt wird.

30

Die alternierende Phasenmaske P weist Spalte 11 bis 18 bzw. Stege 11', 12' und 13' bis 15' auf, welche in einer Chromschicht C1 auf einem Substrat S1, beispielsweise aus Quarz, ausgebildet sind. Von den Spalten 11 bis 18 sind die Spalte 11, 13, 15, 17 tief in das Substrat S1 geätzt, so daß durch diese Spalte hindurchtretendes Licht einen Phasenhub von 180

35

Grad gegenüber einem durch die Spalte 12, 14, 16 hindurchtretenden Licht aufweist. Die Spalte 15 bis 18 repräsentieren ein eng stehendes Linie-Spaltenmuster.

- 5 Die Trim-Maske T ist als herkömmliche Chrommaske ausgestaltet. In einer auf einem weiteren Substrat S2 angeordneten Chromschicht C2 sind Spalte 21 bis 26 und Stege 27 bis 29, 210 bis 211 angeordnet.
- 10 Nur zum Vergleich der Wirkungsweise ist die Trim-Maske T unterhalb der alternierenden Phasenmaske P in Figur 1 dargestellt. Tatsächlich werden die Belichtungen an im wesentlichen identischen Positionen in einem Belichtungsgerät ausgeführt. Durch gestrichelte Linien sind vergleichbare Positionen auf beiden Masken in der horizontalen X-Richtung, d.h.
- 15 der Masken- bzw. Waferebene hervorgehoben, wobei zur Vereinfachung in der schematische Darstellung die im allgemeinen verkleinernde Projektion von einer Maske auf einen Halbleiterwafer W unberücksichtigt bleibt. Auch auf Details des Abbildungssystems wie die Beleuchtungsquelle oder Linsen wurde
- 20 in Figur 1 verzichtet.

In Figur 1 ist unten der Wafer W mit dem zu belichtenden Resist R, welcher beispielsweise auf einer Schicht L aus elektrisch isolierendem oder leitendem Material und einem Substrat S3 aus monokristallinem Silizium angeordnet ist, dargestellt.

- Der Resist R weist die aus einer sukzessiven Doppelbelichtung mit der alternierenden Maske P (Primärmaske) und der Trimm-
- 30 Maske T resultierenden unbelichteten Gebiete 31 bis 37 in der Lackschicht nach Durchführung eines Entwicklungsprozesses auf. Im Beispiel wurde ein Positivlack als Resist R verwendet. Mit der Trimmaske T werden die Spalte 21 bis 23 als
- 35 Hellgebiete auf dem Wafer W abgebildet, wobei mittels der opaken Stege 29, 210, 211 die Luft- bzw. Abbilder der Stege 11' bis 15', d.h. die Lackstege 31 bis 35 vor einer Zweitbe-

strahlung geschützt werden. Die Abbilder der zwischen den in Figur 1 mit Bezugszeichen versehenen Chromstegen angeordneten weiteren Chromstege, d.h. solcher ohne Bezugszeichen, werden hingegen auf dem Wafer durch die Trim-Maske T nachbelichtet und verschwinden daher nach dem Entwickeln.

Durch die Spalte 24 bis 26 wird ein durch die Abbildung der Maske P allein nicht belichteter Bereich in dem Resist R zur Bildung der Lackstege 36 und 37 belichtet. Mit der Trimm-Maske T, die selbst meist nicht die hohe Auflösung der ersten Maske P erreicht, werden somit auch aktiv Strukturelemente auf dem Wafer erzeugt.

Figur 2 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel gemäß der vorliegenden Erfindung. Eine alternierende Phasenmaske P ist analog zu der in Figur 1 dargestellten alternierenden Phasenmaske ausgebildet. In der Trimm-Maske ist im Bereich des bisherigen Chrom-Pads 211 eine Gruppe von Spalten 291 bis 294 bzw. Stege 211' eingebracht. Die Spalte 291 - 294 auf der Trimm-Maske sind derart positioniert, daß ihr Abbild auf dem Wafer W zentriert auf das betreffende projizierte Bild der korrespondierenden phasenschiebenden Spalte 15 - 17 der primären Phasenmaske fällt. Außerdem ist die laterale Dimension der Spalte 291 bis 294 kleiner als die der auf der Phasenmaske befindlichen korrespondierenden phasenschiebenden Öffnungen. Diese Spalte werden somit in Bereiche auf dem Wafer abgebildet, die durch die Phasenschieber bereits eine Bestrahlung erfahren.

Die Masken des Maskensatzes umfassend eine Primär- und Sekundärmaske sind in dem Beispiel für eine Belichtung bei einer Wellenlänge von 193 nm und einer Numerischen Apertur von 0.70 vorgesehen. Das Auflösungsvermögen beträgt etwa 80 nm. Die Spalte 291 bis 294 weisen hingegen eine laterale Dimension von 70 nm - bezogen auf den Wafermaßstab - auf, es handelt sich also um Blindspalte.

Figur 3 zeigt in Erweiterung der Figur 2 Blindspalte 191 bis 193 auf der primären Phasenmaske. Im Hinblick auf die Blindstrukturen bzw. -spalte 191 bis 193 wird die erfindungsgemäße „zweite“ Maske durch die alternierende Phasenmaske P repräsentiert, im Hinblick auf die Blindstrukturen bzw. -spalte 291 bis 294 wird die erfindungsgemäße „zweite“ Maske durch die Trimm-Maske T repräsentiert. Die Blindspalte 191 - 193 erzeugen im belichteten Ausschnitt der Bilder der Spalte 24 bis 26 der Trimm-Maske eine zusätzliche Bestrahlung der photoempfindlichen Schicht R. Die Blindspalte 191 bis 193 sind zentrisch zu den korrespondierenden Spalten 24 bis 26 auf der Trimm-Maske eingebracht und in den lateralen Abmaßen kleiner als die Spalte auf der Trimm-Maske. Ihre Größe wird nach dem oben für die Trim-Maske beschriebenen Verfahren bestimmt. Infolge der zusätzlichen Belichtung mit den Trimm-Spalten vergrößert sich die Schärfentiefe der durch Doppelbelichtung erzeugten Lackstrukturen 36' und 37'. Blindspalte auf der Phasenmaske kommen aus dem oben bereits für Phasenmasken erläuterten Grund nur dann zur Anwendung, wenn die Bossungskurven der korrespondierenden Stege bei einer ausschließlichen (Einfach-)Belichtung mit der Trimm-Maske eine ausgeprägte konkave Form aufweisen und somit zu geringer Schärfentiefe führen.

Die zusätzliche Belichtung mit den Blindspalten wird durchgeführt, um den Verlauf der Linienbreite über den Defokus $CD = CD$ (Defokus) so zu verändern, daß eine Vergrößerung der Schärfentiefe erzielt wird. Das ist immer dann möglich, wenn die Form der Bossungskurve bei Einfachbelichtung mit der Phasenmaske konkav ist (siehe Figur 4). Durch die Belichtung mit den Spalten der Trimm-Maske erfahren konkav ausgebildete Kurven eine deutliche Streckung, was effektiv eine Vergrößerung der Schärfentiefe bedeutet. Figur 4 zeigt schematisch den Kurvenverlauf $CD = CD$ (Defokus) vor und nach der Belichtung mit der Trimm-Maske. Im vorliegenden Beispiel vergrößert sich die Schärfentiefe etwa um einen Faktor 1.5.

Die im optimalen Fokus erzielte Linienbreite ist eine wenig kleiner, als durch einen Bias auf die Primärstruktur korrigierbar ist. Die optimale Größe der Spalte hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie der Numerische Apertur NA des Objek-
5 tives (für beide Masken), der Wellenlänge des zur Abbildung verwendeten Lichtes, dem Beleuchtungstyp sowie von den Linien- und Spaltbreiten der Strukturen auf der Phasenmaske. Ferner sind die Eigenschaften des benutzten Fotoresistes zu berücksichtigen.

10

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, die Größe der Trimm-Spalte 291 bis 294 durch ein simulatorisches Verfahren zu ermitteln, wobei auch die Eigenschaften des Fotolackes einfließen können. Dabei wird die Spaltbreite auf der Trimmmaske unter in-
15 krementeller Veränderung solange variiert, bis sich eine Bossungskurve ausprägt, die parallel oder nahezu parallel zur Defokusachse verläuft. Praktisch beschränkt man sich allerdings auf einige fixe Werte, die vorher bestimmten Strukturgruppen auf der Primärmasken zugeordnet werden. In einer maxi-
20 malen Vereinfachung ist vorgesehen, sich auf eine einzige geeignete Spaltbreite zu beschränken. Figur 4 zeigt das Optimierungsverfahren in einem Flußdiagramm. Weist die Bossungskurve nach Einfachbelichtung bereits eine annähernd gerade oder konvexe Form auf, werden keine Blindspalte in die
5 Trimmmaske eingebracht.

Figur 5 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels für das erfindungsgemäße Simulationsverfahren. In einem ersten Schritt wird das Design einer Primärmasken, hier einer
30 Phasenmaske, bereitgestellt. Auf der Phasenmaske bzw. in dem Design ist eine Struktur n ausgebildet, für die eine erfindungsgemäße Blindstruktur bzw. ein Trimmspalt m auf einer der Primärmasken zugeordneten Trimm-Maske, welche noch herzustellen ist, vorzusehen ist.

35

Mit Hilfe eines herkömmlichen Simulationsprogramms, so wie es dem durchschnittlichen Fachmann aus dem Stand der Technik be-

kannt ist, wird das in einer Waferebene aus einer Projektion mit der Primärmaske entstehende Luftbild als Abbildung der Struktur n berechnet. In diese Berechnung gehen auch Belichtungsparameter wie beispielsweise die Numerische Apertur, die Belichtungswellenlänge oder der Faktor σ des jeweils einzusetzenden Projektionssystems ein. Das Ergebnis des erfindungsgemäßen Simulationsverfahrens wird also insbesondere auch eine von dem Projektionssystem abhängige Konfiguration des Trimmspaltes m auf der Sekundärmaske sein.

Die Simulation wird für eine Anzahl verschiedener Fokuseinstellungen, d.h. über ein bestimmtes Intervall des Defokus, wiederholt, wobei jeweils aus dem Luftbild die Linienbreiten CD des Abbildes der Struktur n als Funktion des Defokus ermittelt werden. Man erhält auf diese Weise eine erste Bossungskurve.

In einem nächsten Schritt wird die Form der Bossungskurve bestimmt. Ist diese konvex, so wird auf der Trimm-Maske kein Trimm-Spalt m an der Position gebildet, welche derjenigen Position der Struktur n auf der Primärmaske entspricht.

Besitzt diese Kurve hingegen eine konkave Form, so wird an die entsprechende Position in dem Design der Trimm-Maske versuchsweise ein Trimm-Spalt m mit einer ersten Spaltbreite $B(m)$ gesetzt.

Anschließend wird das aufgrund einer zusätzlichen Zweitbelichtung mit der Trimm-Maske entstehende Luftbild durch das versuchsweise aufgestellte Trimm-Masken-Design simuliert, wobei hier gegebenenfalls gegenüber den ersten Belichtungsparametern geänderte zweite Belichtungsparameter wie die Numerische Apertur, etc. in die Berechnung einfließen. Die Simulation wird für die Anzahl der Defokuswerte wiederholt, so daß man eine zweite Bossungskurve erhält, die nun auf einer Erst- und Zweitbelichtung beruht.

Der Schritt der Kurvenanalyse wird wiederholt, wobei aus der Bossungskurve der Tiefenschärfebereich ermittelt und mit einem vorgegebenen Grenzwert (DOF_{krit}) verglichen wird. Liegt der ermittelte Tiefenschärfebereich oberhalb des Grenzwertes, so
5 kann die aktuelle Trimmspaltgeometrie in dem Design der Trimm-Maske gespeichert werden.

Wird der Grenzwert hingegen unterschritten, so wird je nach Vorliegen einer konkaven oder konvexen Form der Bossungskurve
10 die Breite des Trimmspaltes m angepaßt, d.h. vergrößert (bei konkaver Form) beziehungsweise verkleinert (bei konvexer Form). Mit der angepaßten Breite $B(m)$ des Trimmspaltes m wird nun in einer Iterationsschleife die Simulation des Luftbildes sowie dessen Auswertung wiederholt. Die Position des Trimm-
15 spaltes m wird dabei konstant gehalten. Der Trimmspalt m liegt vorzugsweise mittig an einer mit der Position der Struktur n auf der Primärmaske P übereinstimmenden Position auf der Trimm- bzw. Sekundärmaske T .

20 Wird dabei kein Überschreiten des Grenzwertes erzielt, so können auch die Belichtungsparameter für die Trimm-Belichtung angepaßt werden, um anschließend eine erneute Iteration zur Bestimmung der Trimmspaltbreite durchführen zu können.

25 Mit den gespeicherten Designs bzw. Datenrepräsentationen jeweils der Primär- und Sekundärmaske (in dem Ausführungsbeispiel die Phasen- und die Trimm-Maske) kann nachfolgend ein Maskenherstellungsprozeß angestoßen werden. Das Ergebnis ist ein erfindungsgemäßer Maskensatz mit aufeinander abgestimmten
30 Strukturmustern.

Bei der Datenrepräsentation kann es sich beispielsweise um eine GDSII-Datei handeln. Es ist jedoch auch jedes dem geübten Fachmann geläufige andere Datenformat denkbar, in welchem
35 das Design oder Layout der Strukturen auf einer Maske elektronisch gespeichert werden kann.

Gemäß einem Aspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es vorgesehen in Abhängigkeit von dem genauen Wert der Anpassung der Transparenz eine Linienbreitenanpassung der Öffnung auf der ersten Maske durchzuführen. Ein solches Vorgehen kann
5 deshalb besonders vorteilhaft sein, weil durch die Änderung des Prozeßfensters auch Rückwirkungen auf die Abbildungseigenschaften der auf der ersten Maske gebildeten Öffnungen eintreten können.

10 Es ist außerdem vorgesehen, eine weitere Öffnung in der zweiten Datenrepräsentation der zweiten Maske (T) vorzugeben, und dieser ein weiteres semitransparentes Gebiet in der ersten Datenrepräsentation der ersten Maske (P) zuzuordnen. Die Schritte d) bis l) des erfindungsgemäßen Verfahrens können
15 dann zur Anpassung einer Transparenz des weiteren semitransparenten Gebietes auf der ersten Maske wiederholt werden. Auf beiden Masken sind somit erfindungsgemäße semitransparente Gebiete strukturiert, die das Prozeßfenster der Abbildung von jeweils auf der anderen Maske gebildeten Öffnungen verbesser-
20 n.

Patentansprüche:

1. Satz von wenigstens zwei Masken zur Projektion von jeweils auf den Masken gebildeten und aufeinander abgestimmten Strukturmustern mittels eines Projektionssystems in dieselbe photoempfindliche Schicht (R), welche auf einem Halbleiterwafer (W) angeordnet ist, wobei das Projektionssystem eine Auflösungsgrenze für eine laterale Dimension einer von einer Maske auf den Halbleiterwafer (W) projizierten Öffnung aufweist, umfassend:
- eine erste Maske (P), umfassend eine semi- oder intransparente erste Schicht (C1), welche auf einem ersten Substrat (S1) angeordnet ist und in welcher wenigstens eine erste Öffnung (15 - 18) an einer ersten Position gebildet ist, wobei die erste Öffnung (15 - 18) eine erste laterale Dimension aufweist, welche größer als die Auflösungsgrenze ist,
 - eine der ersten Maske (P) zugeordnete zweite Maske (T), umfassend eine semi- oder intransparente zweite Schicht (C2), welche auf einem zweiten Substrat (S2) angeordnet ist und in welcher wenigstens eine der ersten Öffnung (15 - 18) zugeordnete Blindstruktur (191 - 194) an einer zweiten Position gebildet ist, wobei die Blindstruktur eine zweite laterale Dimension aufweist, welche geringer als die Auflösungsgrenze des Projektionssystems ist, und
 - wobei die erste Position auf der ersten Maske (P) im wesentlichen identisch mit der zweiten Position auf der zweiten Maske (T) ist.
2. Satz von Masken nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Maske (P) eine chromlose oder eine alternierende Phasenmaske ist.
3. Satz von Masken nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß

die zweite Maske (T) eine Trimm-Maske mit wenigstens einer weiteren Öffnung (21 - 23) zur Belichtung eines Gebietes in der photoempfindlichen Schicht ist, die aufgrund eines Phasenkonfliktes im Falle einer Belichtung mit der ersten Maske entsteht.

4. Satz von Masken nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

- die erste Maske (P) eine Trimm-Maske zur Belichtung einer Lackstruktur in der photoempfindlichen Schicht (R) ist, die aufgrund eines Phasenkonfliktes im Falle einer Belichtung mit der zweiten Maske (T) entsteht,
- die zweite Maske (T) eine alternierende oder chromlose Phasenmaske ist.

5. Satz von Masken nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

- die erste Öffnung, eine zweite Öffnung und wenigstens eine dritte Öffnung als Spalten in einem periodischen Linien-Spalten-Muster auf der ersten Maske angeordnet sind.

6. Satz von Masken nach Anspruch 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

- die erste, zweite und wenigstens dritte Öffnung als Spalten durch erste, zweite und dritte Stege voneinander getrennt sind, welche durch die semi- oder intransparente erste Schicht gebildet werden,
- die erste, zweite und wenigstens dritte Öffnung jeweils die gleiche erste laterale Dimension aufweisen,
- der erste, zweite und dritte Steg jeweils eine gleiche dritte laterale Dimension aufweisen,
- die erste und die dritte laterale Dimension verschieden voneinander sind.

7. Satz von Masken nach Anspruch 6,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

der ersten, zweiten und wenigstens dritten Öffnung jeweils eine Blindstruktur zugeordnet ist, wobei die Position der ersten, zweiten und wenigstens dritten Öffnung auf der ersten Maske jeweils im wesentlichen identisch mit derjenigen Position der ihr zugeordneten Blindstruktur auf der zweiten Maske ist.

8. Satz von Masken nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß

- wenigstens eine weitere transparente Öffnung an einer weiteren ersten Position auf der ersten Maske (P) gebildet ist,
- wenigstens ein semitransparentes Gebiet an einer mit der weiteren ersten Position auf der ersten Maske übereinstimmenden weiteren zweiten Position auf der zweiten Maske angeordnet ist.

9. Verfahren zur Herstellung eines Satzes von wenigstens zwei Masken (P, T) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, umfassend die Schritte:

- a) Vorgeben einer elektronisch gespeicherten ersten Datenrepräsentation der ersten Maske (P) mit einer ersten Öffnung (15 - 18) an einer ersten Position auf der ersten Maske (P),
- b) Vorgeben wenigstens eines Satzes von Belichtungsparametern eines Projektionssystems, vorzugsweise einer Wellenlänge (λ) des für die Projektion wenigstens einer zweiten Maske (T) in eine photoempfindliche Schicht (R) auf einem Halbleiterwafer (W) in dem Projektionssystem verwendeten Lichtes, einer Numerischen Apertur (NA) sowie Parametern eines Beleuchtungssystems,
- c) Berechnen einer Auflösungsgrenze für die laterale Dimension einer durch das Projektionssystem optisch auflösbaren Öffnung auf der zweiten Maske (T) aus den Werten der vorgegebenen Belichtungsparameter,
- d) Vorgeben einer zweiten Datenrepräsentation der zweiten Maske (T) mit einer Blindstruktur (191 - 194) an einer mit

der ersten Position auf der ersten Maske übereinstimmenden zweiten Position auf der zweiten Maske (T), wobei die Blindstruktur eine zweite laterale Dimension aufweist, welche geringer als die Auflösungsgrenze für die Belichtungsparameter der zweiten Maske ist,

- e) Vorgeben einer ersten Fokuseinstellung des Projektionssystems,
- f) Simulieren des Abbildes der ersten Öffnung und der Blindstruktur in der photoempfindlichen Schicht (R) auf dem Halbleiterwafer (W) mittels der ersten und der zweiten Datenrepräsentation anhand der vorgegebenen Belichtungsparameter und der Fokuseinstellung,
- g) Bestimmen der lateralen Dimension des simulierten Abbildes aus einer Superposition der Bilder der ersten Öffnung (15 - 18) und der Blindstruktur (191 - 194) in der photoempfindlichen Schicht (R),
- h) Wiederholen der Schritte e) bis g) für wenigstens zwei weitere, voneinander verschiedene Fokuseinstellungen zur Bestimmung der lateralen Dimension des simulierten Abbildes als eine Funktion der Fokuseinstellungen,
- i) Vorgeben eines Grenzwertes für einen Tiefenschärfebereich der Abbildung,
- j) Ermitteln des Tiefenschärfebereiches der Abbildung aus der Funktion,
- k) Vergleich des ermittelten Tiefenschärfebereiches mit dem Grenzwert,
- l) in Abhängigkeit von dem Vergleichsergebnis Anpassen der zweiten lateralen Dimension der Blindstruktur (191 - 194) in der zweiten Datenrepräsentation der zweiten Maske (T),
- m) elektronisches Speichern der zweiten Datenrepräsentation der zweiten Maske (T).

10. Verfahren nach Anspruch 9,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

in Abhängigkeit von der Anpassung der zweiten lateralen Dimension eine Linienbreitenanpassung der ersten Öffnung durchgeführt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

- eine weitere Öffnung in der zweiten Datenrepräsentation der
5 zweiten Maske (T) vorgegeben wird,

- der weiteren Öffnung in der zweiten Datenrepräsentation ei-
ne weitere Blindstruktur in der ersten Datenrepräsentation
der ersten Maske zugeordnet wird,

10 - die Verfahrensschritte e) bis m) zur Anpassung einer late-
ralen Dimension der weiteren Blindstruktur auf der ersten
Maske wiederholt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 9,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

15 die erste Maske eine chromlose, eine alternierende, eine
Halbton-, eine Dreiton-Phasenmaske oder eine Chrommaske ist.

Zusammenfassung:

Satz von wenigstens zwei Masken zur Projektion von jeweils
auf den Masken gebildeten und aufeinander abgestimmten Struk-
5 turmustern und Verfahren zur Herstellung der Masken

Eine Satz von wenigstens zwei Masken zur Projektion von auf-
einander abgestimmten Strukturmustern mittels eines Projektionssystems in dieselbe photoempfindliche Schicht (R) eines
10 Halbleiterwafers (W) umfaßt eine Primärmaske (P) mit einer
ersten Öffnung (15 - 18), die an einer ersten Position auf
der Maske (P) gebildet ist, wobei die laterale Dimension der
ersten Öffnung (15 - 18) größer als die Auflösungsgrenze des
Projektionssystems ist. Es handelt sich dabei beispielsweise
15 um eine alternierende Phasenmaske. Eine der ersten Maske (P)
zugeordnete zweite Maske (T) des Satzes, beispielsweise eine
Trimm-Maske umfaßt eine der ersten Öffnung (15 - 18) zugeord-
nete Blindstruktur (191 - 194), die an der gleichen Position
auf der zweiten Maske gebildet ist, wie die erste Öffnung auf
20 der ersten Maske. Die Blindstruktur weist eine zweite latera-
le Dimension auf, welche geringer ist als die Auflösungsgren-
ze des Projektionssystems. Mit dieser kann eine Blind-
Trimmung der Primärmaske zur Vergrößerung des Prozeßfensters
bei der Belichtung des Halbleiterwafers durchgeführt werden.

Figur 2

Bezugszeichenliste

| | | |
|----|---------------|---|
| | C1 | opake Schicht der ersten Maske |
| | C2 | opake Schicht der zweiten Maske |
| 5 | L | Schicht |
| | P | erste Maske, Primärmaske |
| | R | photoempfindliche Schicht |
| | S1 | Substrat der ersten Maske |
| | S2 | Substrat der zweiten Maske |
| 10 | S3 | Substrat des Halbleiterwafers |
| | T | zweite Maske, Sekundärmaske, Trimm-Maske |
| | W | Halbleiterwafer |
| | 11-18 | Öffnungen auf erster Maske |
| | 11'-15' | opake Stege auf erster Maske |
| 15 | 21-26 | Öffnungen auf zweiter Maske |
| | 27-29,210,211 | opake Stege auf zweiter Maske |
| | 31-37 | unbelichtete Lackstrukturen im photoempfindlichen Lack |
| | 191,192,193 | Blindstrukturen |
| 20 | 291-294 | Blindstrukturen |

Fig. 1

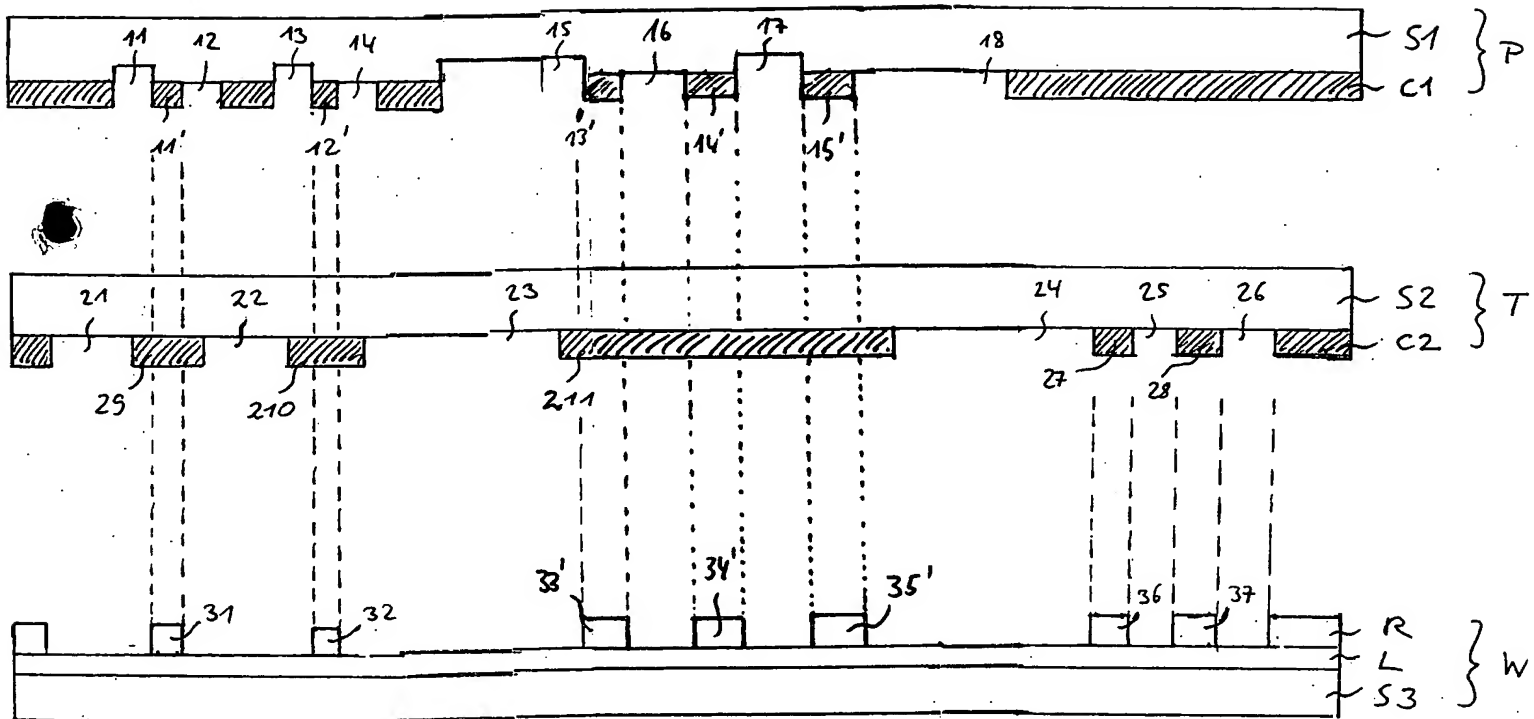


Fig. 2

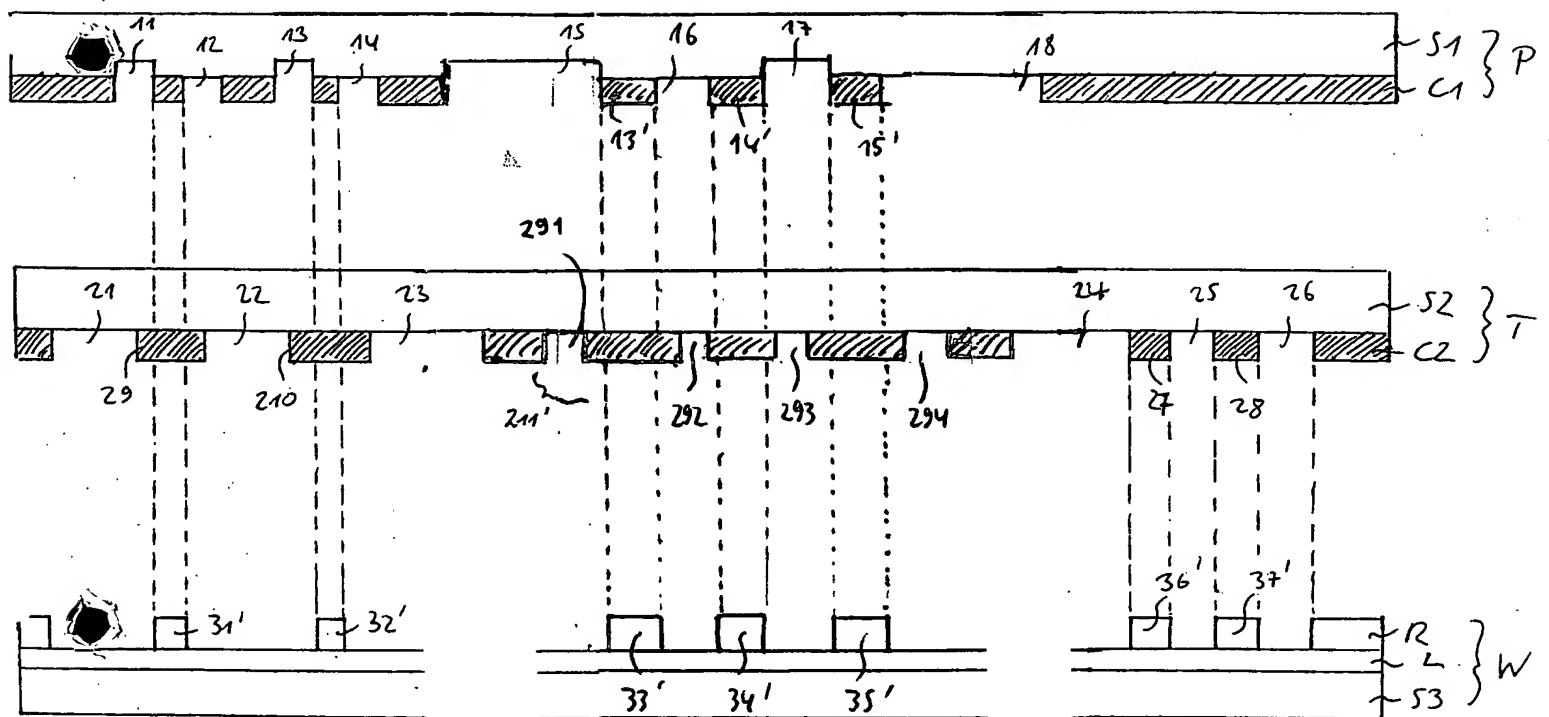


Fig. 3

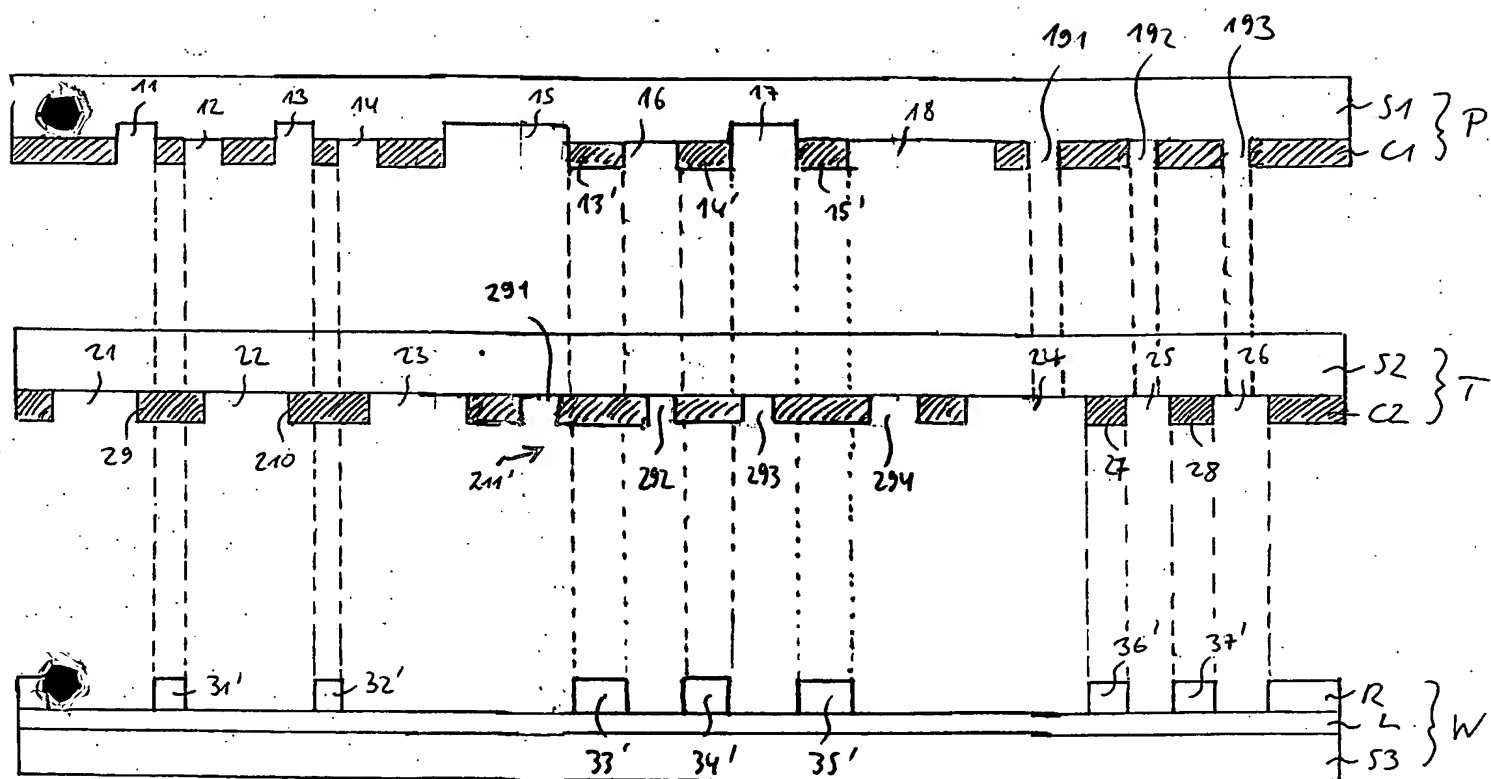


Fig. 4

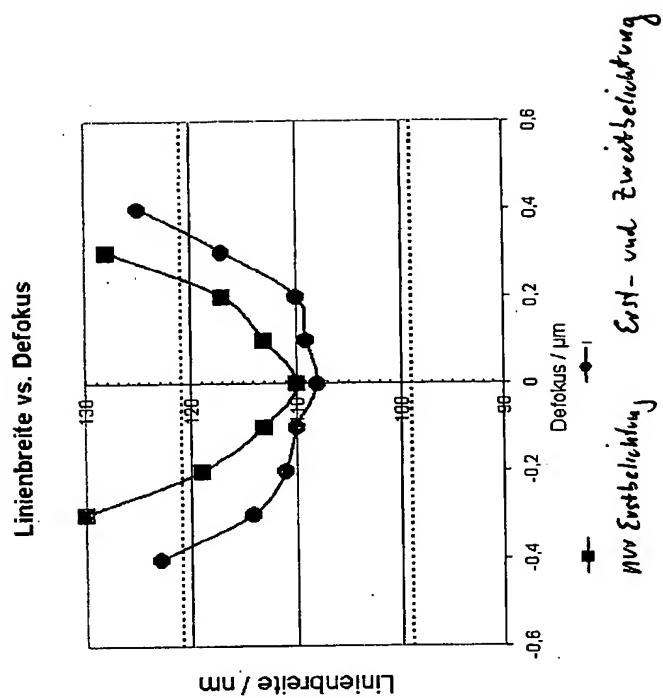


Fig. 5

